

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

昭63-62390

⑬ Int.Cl.

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 昭和63年(1988)3月18日

H 01 S 3/18

7377-5F

審査請求 未請求 発明の数 1 (全7頁)

⑮ 発明の名称 分布帰還型半導体レーザ

⑯ 特 願 昭61-208186

⑰ 出 願 昭61(1986)9月3日

⑱ 発 明 者 桑 村 有 司 東京都港区芝5丁目33番1号 日本電気株式会社内

⑲ 出 願 人 日本電気株式会社 東京都港区芝5丁目33番1号

⑳ 代 理 人 弁理士 内 原 晋

明細書

発明の名称

分布帰還型半導体レーザ

特許請求の範囲

半導体基板上に少なくとも活性層と前記活性層よりも禁制帯幅が大きくかつ一方の面に一部位相が反転した回折格子を形成した光ガイド層とを有する入/4シフト型分布帰還型半導体レーザの共振軸方向において、ほぼ中央に前記反転した位相の回折格子を有し活性層の利得が0以上のレーザ発光領域と、前記レーザ発光領域の両端で位相が一致し連続した回折格子を有し光導波層での利得が常に0以下の第1、第2のブラッグ反射領域と、前記第1、第2のブラッグ反射領域の前記レーザ発光領域と接していない方の端面にそれぞれ形成された無反射膜とを含んでなることを特徴とする分布帰還型半導体レーザ。

発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明は戻り光誘起雑音が少なくかつ単一軸モード発振する確率の高い分布帰還型半導体レーザに関する。

(従来の技術)

現在、日本国内縦貫通信網、米国-日本を結ぶ海底中継光ファイバ通信システムの計画など光ファイバ通信システムの実用化が急ピッチで進展している。その中で、光源である半導体レーザの特性向上は最も重要な課題である。特に光通信用光源として使用される1.3 μm 、1.5 μm 帯の半導体レーザにおいては、高速変調時にも安定な単一軸モード発振を示し、伝送帯域及び伝送距離を大きくとることができる分布帰還型半導体レーザ(以下DFB-LDと記す)の開発が進められている。DFB-LDは、素子内部に形成した回折格子による波長選択機構により一本の軸モードで発振する半導体レーザである。ところが通常のDFB-LDにおいては、ブラッグ波長をはさんだ

特開昭63-62390(2)

2本の軸モードに対するしきい値利得差を大きくすることができないため、2本の軸モードで発振する確率が高くなり、単一軸モードで発振する素子の製造歩留りが悪い。この理由は、回折格子の周期と一致するブラッグ波長では半導体レーザの導波路をほぼ中央を前進する波と、回折格子による反射によりフィードバックしてきた波の位相が 180° 異なるため、両者の波がうちけしあう。このため、ブラッグ条件では効率のよい光の反射がえられず、ブラッグ波長をはさむ2本の軸モードが発振しやすくなる。そこで、回折格子の位相を半導体レーザ波長(結晶内部での波長)の位相で $\lambda/4$ だけずらすことにより前進波とフィードバックしてきた波の位相を一致させ、ブラッグ条件で効率のよい反射波を作り出し、サブモードとの利得差を大きくとり単一軸モード発振する $\lambda/4$ シフト型DFBレーザが提案されている。

第4図は従来の $\lambda/4$ シフト型DFBレーザの断面図である。

5は $\lambda/4$ シフト型回折格子、6は光ガイド

及び光ファイバどうしの接合部などからレーザの出力光の一部が反射・散乱されてレーザの共振器内にフィードバックされる。このような戻り光があると、戻り光量が極めてわずかであってもレーザ動作は、大きな擾乱を受け、発振光のスペクトルの変化や出力強度雑音の増大などレーザ発振が不安定になり、光通信システムに大きな影響をあたえることが知られている。そこで通常レーザ出力面から光ファイバ端面の間にアイソレータを用い、レーザ発振の不安定を防ぐことが常識であった。ところが、レーザ端面を無反射にすると戻り光誘起雑音が増大し、アイソレータの許容範囲におさまらなくなり、光通信システムの誤動作が増加するようになる。

〔問題点を解決するための手段〕

本発明の分布掃選型半導体レーザは、半導体基板に少なくとも活性層と前記活性層よりも禁制帯幅が大きくかつ一方の面に一部位相が反転した回折格子を形成した光ガイド層とを有する $\lambda/4$ シフト型分布掃選型半導体レーザの共振軸方向に

層、7は活性層、4は無反射膜である。

〔発明が解決しようとする問題点〕

しかし、上に述べた $\lambda/4$ シフト型DFBレーザにおいて、歩留りをよくするためにはレーザ光出射面(2面ある)での光の反射率を0にする必要がある。これは、ファブリーペローモードを抑制するほか、両端無反射にしない場合、共振器内部の光の位相がへき開などにより形成された反射端面での回折格子の位相により変化するため、 $\lambda/4$ シフト回折格子により整合のとれた位相条件をかく乱してしまうためである。以上述べたように $\lambda/4$ シフト型DFB-LDにおいては、光出射面を無反射にしなければ、単一軸モードで発振するLDの歩留りが悪い。

このように光出射面が無反射である半導体レーザを光通信システム用光源として使用する場合には以下で述べるような問題点が生じてくる。半導体レーザを光通信システム用光源として用いた時レーザ出射光を効率よく光ファイバ内に導入するため球面レンズなどの光学系、光ファイバ端面、

において、ほぼ中央に前記反転した位相の回折格子を有し活性層の利得が0以上のレーザ発光領域と、前記レーザ発光領域の両端で位相が一致し連続した回折格子を有し光導波層での利得が常に0以下の第1、第2のブラッグ反射領域と、前記第1、第2のブラッグ反射領域の前記レーザ発光領域と接していない方の端面にそれぞれ形成された無反射膜とを含んでなるものである。

〔作用〕

本発明の作用について述べる前に戻り光誘起現象について説明する。半導体レーザの共振器に光がフィードバックされた時に生じるレーザ特性の変化はきわめて多様であるが、実用的には、戻り光の有無に伴う出力強度やスペクトルの変化、出力中の雑音の増大あるいは減少、さらには変調時の出力強度の応答特性などが特に問題となる。このような多様な変化をもたらす戻り光の効果を説明する簡単なモデルを第5図に示す。このモデルは、戻り光の原因となる外部反射鏡11と半導体レーザ10とからなる複合共振器とみなすことが

特開昭63-62390(3)

できる。今、LD共振器の内部電界を複素表示で $E(x)e^{-i\Omega t}$ と表し、励起された電子密度を n とすれば、この複合共振器半導体レーザの動作を表す方程式は、

$$\frac{d}{dt} E(t) = \left\{ i(\omega - \Omega) + \frac{1}{2} (G - \Gamma) \right\} E(t) + \kappa E(t - \tau) e^{-i\Omega \tau} \quad \dots (1)$$

$$\frac{d}{dt} n = \gamma - G |E(t)|^2 + P \quad \dots (2)$$

と書ける。ただし Ω は発振周波数、 ω はLD共振器の共振周波数、また G はモード利得である。また γ は自然放出による電子密度の減衰定数、 P は共振器の単位体積・時間あたりの電子励起数で注入電流に比例する。この式の中でレーザ構造が大きく反映され、戻り光誘起現象に大きな影響を与える項は、(1)式中の Γ と第2項の κ であるといえる。

$$\Gamma \text{ は、 } \Gamma = (C/nL_0) \rho_0 (1/R) \quad \dots (3)$$

で与えられレーザの端面透過損失の共振器損失であり、 C は光速、 n は光導波路の実効屈折率、 L_0 はLDの共振器長である。 κ は次式で定義される共振器間の結合の強さを表すパラメータであり、戻り光量に大きな影響を与える。

$$\kappa = (1 - R_2)(R_1/R_2)^{1/2} C/2nL_0 \quad \dots (4)$$

ただし、ここで R_1 および R_2 はそれぞれLDの光出射端面での反射率で、 R_2 は外部反射鏡11での反射率である。

今、DFB-LDを用いた通信システムに上記のモデルを用いて定性的に考察する。今、 Γ 及び κ の値が大きくなるということは、戻り光の影響が大きくなることを意味している。つまり、戻り光の影響を小さくするには Γ の値及び κ の値をできるかぎり小さくすることが有効であるといえる。(3)、(4)式から戻り光量の影響を小さくするためには、

I. 半導体レーザの端面反射率 R_1 、 R_2 を大きくする。

II. 半導体レーザの共振器長 L_0 を長くすることが有効であることがわかる。

ところが通常の半導体レーザの共振器長 L_0 は200~500 μm であり、その特性上 L_0 をあまり大きくすることはできない。そこで半導体レーザにおいて戻り光誘起現象を低減させる構造パラメータはIの条件つまり半導体レーザの端面反射率 R_1 、 R_2 を大きくすることであるといえる。ところが上述した $\lambda/4$ シフト型半導体レーザにおいては $R_1 \approx R_2 \approx 0$ であり、実効的に κ が大きな値となっていると予想される(回折格子による反射があるため(4)式をそのままは適用できない)。ゆえに従来型の $\lambda/4$ シフト型DFB-LDは戻り光に弱い素子構造となっている。

そこで $\lambda/4$ シフト型DFB-LDで戻り光の影響を小さくかつ単一軸モード発振を歩留りよくするためには、

III. レーザ共振器端面で光の反射がない状態で、

IV. 素子内部に戻り光を反射する機構を有する

ことが重要となってくる。このような条件を満足する素子構造としては、ブラッグ反射器が考えられる。本発明はこの点に着目して $\lambda/4$ シフト型DFB-LDにゲイン利得を有しない第1、第2のブラッグ反射領域を付加したものである。

以下、従来の端面無反射 $\lambda/4$ シフト型DFB-LDと本発明の端面無反射ブラッグ反射領域付 $\lambda/4$ シフト型DFB-LDの戻り光誘起雑音の相違について簡単に説明する。

第6図(a)、(b)はそれぞれ従来型と本発明のDFB-LDに戻り光をフィードバックした時の戻り光の電界強度分布図である。従来型(第6図(a))では素子内部全領域がゲイン領域となっているため、フィードバックされた戻り光は、回折格子での反射による減衰より利得による増大がうまわり、増幅され、素子内部の電界を大きくかく乱してしまう。それに対し、本発明の素子の場合、第6図(b)に示すように利得 $G \leq 0$ の第1のブラッグ反射領域を通過する。そこで、戻り光の一部は、ブラッグ反射領域内にある

特開昭63-62390(4)

回折格子により反射されるため、その電界強度は弱められ、 $G \geq 0$ のレーザ発光領域へと進む。つまり、レーザ発光領域に達するまでに戻り光の一部が反射される。このため、本発明の素子においては実効的に端面反射率 R_a が大きくなり、 κ が減少する。ゆえに、本発明の DFB-LD は従来型のものより戻り光の影響をうけにくい構造になっていることがわかる。

〔実施例〕

次に、本発明の実施例について図面を参照して説明する。

第1図は本発明の一実施例の断面図である。

この実施例は、 n -InP からなる半導体基板8上に少なくとも InGaAsP からなる活性層7と、活性層7よりも禁制帯幅が大きくかつ一方の面に一部位相が反転した回折格子5-1を形成した光ガイド層6とを有する $\lambda/4$ シフト型分布帰還型半導体レーザの共振軸方向において、ほぼ中央に反転した位相の回折格子5-1を有し活性層7の利得が0以上のレーザ発光領域1とレーザ発光領域

1の両端で位相が一致し連続した回折格子5-2、5-3を有し光導波層での利得が常に0以下の第1、第2のブラッグ反射領域2、3と、第1、第2のブラッグ反射領域2、3のレーザ発光領域と接していない方の端面にそれぞれ形成された無反射膜4-1、4-2とを含んでなるものである。

第1、第2のブラッグ反射領域2、3は通常、レーザ発光領域1と連続的につながったものでなければこの地点で反射が生じてしまう。それをふせぐため各領域での利得 G が $G > 0$ である領域（レーザ発光領域1）と $G < 0$ である領域（ブラッグ反射領域2、3）に分離してある。半導体レーザの場合、電流注入により利得 G をかせいでいるので両領域は電流を注入するかしないかにより分離できる。しかし、ブラッグ反射領域にまったく電流注入を行わない場合には、ブラッグ反射領域2、3はレーザ発振波長の光を吸収する領域となってしまう。レーザの特性の低下をもたらす。そこでブラッグ反射領域2、3をレーザ発振

波長の光に対し透明領域にするため、一定の電流を注入して利得がほぼゼロ（ $G = 0$ ）とする目的で、電極3a、3bをもうけてある。

次に、この実施例の製造方法について説明する。

第2図(a)～(d)は本発明の第1の実施例の製造方法を説明するため工程順に配置した半導体チップの断面図である。

まず、第2図(a)に示すように n -InP からなる半導体基板8上に、一部位相が反転したような $\lambda/4$ シフト型回折格子となる周期的凹凸14、15を形成する。周期的凹凸14、15は同じ空間的周期を有しているが、周期的凹凸14の終端16は凸部の中央にあたり、そこはまた周期的凹凸15の始端で凹部の中央にあたる。

次に、第2図(b)に示すように、 n -InGaAsP からなる光ガイド層6、ノンドープ InGaAsP からなる活性層7、 p -InP からなるクラッド層17を順次積層し、二重ヘテロ接合構造体を形成する。その後、電流狭窄と光の横モード制御を行

なうための埋め込み成長を行ない（図示しない）、次いで第2図(c)に示すように、 p 型及び n 型オーミック電極用金属18、9を形成する。次に、第2図(d)に示すように、位相シフト部をほぼ中央として左右ほぼ対称な位置の p 型オーミック電極18及び p -InP クラッド層17の一部を取り除き、電極分離を行ない3電極構造にする。この時レーザ発光領域1の長さは200～300 μm 、ブラッグ反射領域2、3の長さは50 μm 程度とした。その後、へき開によりレーザチップ化してその両へき開面に無反射コーティング膜4-1、4-2を形成することにより、第1図に示した本発明の第1の実施例の半導体レーザはでき上がる。そしてレーザ使用時にはブラッグ反射領域2、3への電流注入量をほぼ利得 $G \leq 0$ の状態に固定して使用する。

第3図(a)は本発明の第2の実施例の斜視図、第3図(b)は第3図(a)のX-X'線断面図である。

この実施例は、光ガイド層6、 n -InGaAsP 層

特開昭63-62390(5)

19からなる活性層及びn-InP層20からなるクラッド層を含む二重ヘテロ接合構造体を有し、電流注入領域25及びZn拡散領域23を備えている。21は酸化シリコン等の絶縁膜、22はp型オーミック電極である。

レーザ発光領域からの発振光に対してブラッグ反射領域での光導波層を透明にする方法としては、多重量子井戸MQWを活性層として利用したり、不純物拡散により実効的禁制帯幅差をつける方法などが考えられる。この実施例は後者によっているが、同じキャリア濃度の半導体結晶においてn型とp型ドーパントの不純物単位が異なることを利用しており、一般にp型の半導体結晶の方がバンドシュリンケージが大きく、実効的に禁制帯幅が小さくなる。そこでレーザ発光領域の活性層をp型としブラッグ反射領域の活性層(光導波層)をn型にしてやるとブラッグ反射領域での実効的禁制帯幅の方が広くなり光の吸収をおさえることができる。また、同じキャリア濃度のn型とp型の半導体結晶においてはキャリアの有効質量

の相違から屈折率に差ができる。この効果を利用して半導体レーザの横モード制御ができることが知られている。

次に、この実施例の製造方法について述べる。

第1の実施例と同様にして、n-InPからなる半導体基板8にまず一部位相が反転している $\lambda/4$ シフト型回折格子となる凹凸を形成する。その上にn-InGaAsP層6からなる光ガイド層、 $2 \sim 3 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 程度のキャリア濃度のn-InGaAsP層19からなる活性層、n-InP層20からなるクラッド層を順次エピタキシャル成長する。その後、絶縁層21をn-InP層20上に成長し、電流注入領域を形成するために絶縁層21を選択的にとりのぞき、絶縁層21をマスクとしてZn拡散を行う。その時、Zn拡散フロント24は第3図に示すようにn-InGaAsP層19からなる活性層の近傍(下側)にありn-InGaAsP活性層をキャリア濃度が $1 \sim 2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ のp-InGaAsP活性層に反転するように拡散時間及び拡散温

度などを制御する。その後、p型オーミック電極22及びn型オーミック電極8を形成し、へき開などで半導体レーザチップとし、その光出射面に無反射コーティング膜4-1、4-2を形成する。

〔発明の効果〕

以上説明したように本発明は、ブラッグ反射領域により戻り光の一部が反射されることやレーザ発光部での電界強度が増加することにより従来型の $\lambda/4$ シフト分布帰還型半導体レーザよりも戻り光誘起雑音が少なく、しかも従来型とほぼ同程度の確率で単一軸モード発振する半導体レーザが得られる効果がある。

図面の簡単な説明

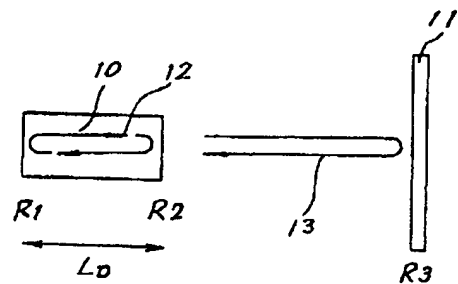
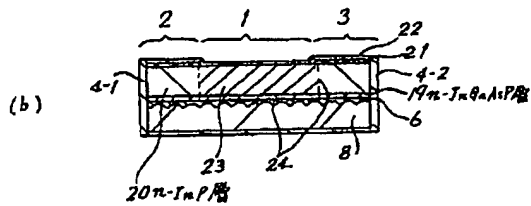
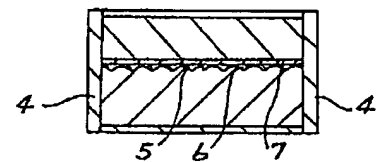
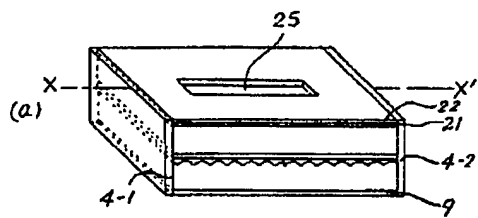
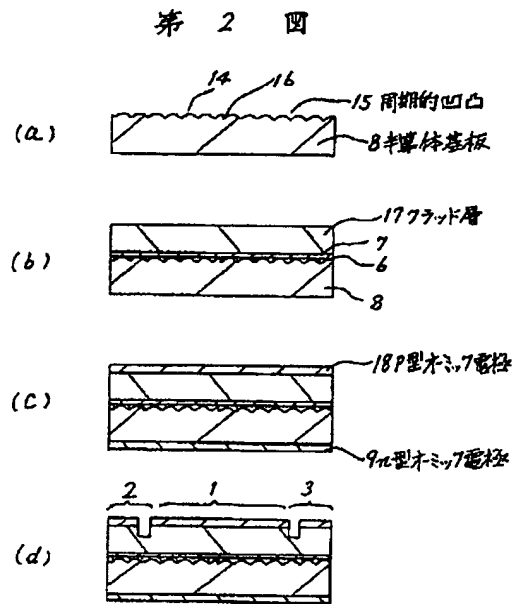
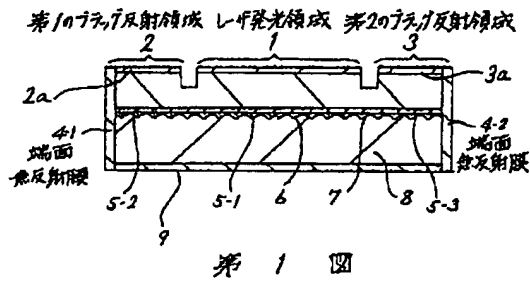
第1図は本発明の第1の実施例の断面図、第2図(a)～(d)は第1の実施例の製造方法を説明するための工程順に配置した半導体チップの断面図、第3図(a)は本発明の第2の実施例の斜視図、第3図(b)は第3図(a)のX-X'線

断面図、第4図は従来例の断面図、第5図は戻り光効果を説明するモデルの模式図、第6図(a)、(b)はそれぞれ従来例及び本発明における戻り光の電界強度分布図である。

1…レーザ発光領域、2…第1のブラッグ反射領域、3…第2のブラッグ反射領域、4、4-1、4-2…端面無反射膜、5-1… $\lambda/4$ シフト型回折格子、5-2、5-3…回折格子、6…光ガイド層、7…活性層、8…半導体基板、9…n型オーミック電極、10…半導体レーザ、11…外部反射鏡、12…光の伝播、13…戻り光、14、15…周期的凹凸、16…14の終端(15の始端)、17…クラッド層、18…p型オーミック電極、19…n-InGaAsP層、20…n-InP層、21…絶縁層、22…p型オーミック電極、23…Zn拡散領域、24…拡散フロント、25…電流注入領域。

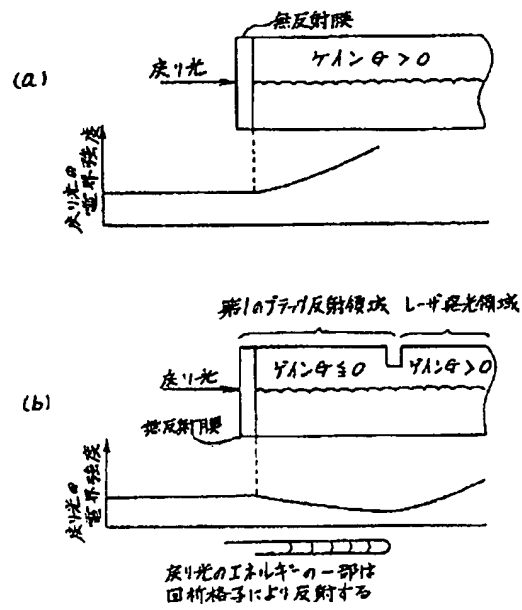
代理人 弁理士 内 原

弁理士
内原 智



第3図

第5図



第 6 図